ChinaXiv合作期刊

doi:10.13866/j.azr.2018.05.26

基于 NPP 的石羊河流域环境治理工程成效评价①

李传华， 赵 军， 师银芳， 魏 伟
（西北师范大学地理与环境科学学院，甘肃 兰州 730070）

摘 要： 人类活动是净第一性生产力（NPP）变化的重要影响因子，计算人类活动对 NPP 的影响可以定量评估其对生态环境的影响，对评价环境治理工程成效也具有重要意义。本文以石羊河流域为研究区，通过变异系数法计算治理前后的 NPP 人为影响值，比较 2 个时段 NPP 人为影响值的空间格局、变化及趋势，并以行政区为单元评价生态环境治理的成效。研究表明：① 人类活动对植被 NPP 的影响覆盖了大部分区域，2000—2006 年人为影响值介于 $-588.31 \sim 653.57\ g \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$，2007—2010 年介于 $-644.30 \sim 673.63\ g \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$。2 个时段人为作用对全流域植被 NPP 的正负影响均十分剧烈，整体都表现为正影响，净影响值从 $0.37\ Tg \cdot a^{-1}$ 减少到 $0.33\ Tg \cdot a^{-1}$。② 治理后流域 60.13% 的区域 NPP 人为影响发生改变，主要表现为正向影响减弱（占 36.54%）和负向影响减弱（占 12.09%），人类活动在直接作用区域有所放缓；但人为影响的方向变化较少，仅占 5.60%。这说明虽然治理局部取得了一定成效，但要从根本上治理将是一个长期的过程。③ 各行政区治理成效各异，民勤与凉州区成效最为显著，其他依次为古浪、天祝、永昌、肃南、金川等县市。

关键词： 变异系数法；净初级生产力（NPP）；人为影响；治理成效；环境评价；石羊河流域

chinaXiv:201809.00012v1

生态环境退化是最严重的环境问题之一，包括生态系统结构破坏、功能衰退、生物多样性减少、生物生产力下降以及土地生产潜力衰退、土地资源丧失等[1]。我国是生态环境退化最严重的国家之一，面对资源约束趋紧、环境污染严重、生态系统退化的严峻形势，必须树立尊重自然、顺应自然、保护自然的生态文明理念，把生态文明建设放在突出地位，宁要绿水青山不要金山银山[2]。

石羊河流域是我国生态环境退化最严重的地区之一，也是人类活动对环境影响最剧烈的区域，20 世纪 80 年代以来，该地区生态环境恶化严重[3-9]，引起了社会各界的高度关注。为了改善当地生态环境，2006 年甘肃省政府启动环境治理工程，于 2010 年完成一期工程，因此，开展该流域生态环境评估，分析生态环境变化，特别是在人为作用下生态环境的变化，对于全面掌握流域生态环境状况以及科学评价工程治理成效具有重要意义。

生态环境是一个复杂系统，对其评估是一个复杂的过程，由于植被生产力是一个有效且可遥感估算的陆地生态过程关键参数[10]，因此，本研究选择净第一性生产力（NPP）作为生态环境评估因子。众所周知，生态环境变化受气候变化和人类活动影响，气候影响居主要地位，但随着人类活动能力的增强，局部范围短时期内人类活动的影响可居首要地位[11-13]。生态治理工程属于人类活动，可根据人为作用下的 NPP 影响值来分析治理成效，即比较 2 个时段（治理前后）人类活动对 NPP 的影响。

人类活动方式多样，相同的人类活动在不同地区对 NPP 的影响不同，因此较难直接量化。目前，人类活动对 NPP 影响的定量研究主要有残差分析法[14-17]、降水利用效率分析法[18-21]、模型变量控制法[22-24]、人为影响强度法[25-27]、实际与潜在 NPP 求差法[28]、CASA 模型计算法[29-30]等。上述方法各有特点，但也有其不足之处，如残差法只适用于长时间和大范围，在人为影响剧烈的区域，线性关系中不能忽略人为影响的作用；降水利用效率模型不能定量计算人为影响值；模型变量控制法模型复杂、参数较多，较难获取；人为影响强度法的指标选取与影响权重存在较大的主观性。CASA 模型计算法只能计算出植被发生变化的区域，如某区域起始时间已受到人为作用影响（如耕地），在终止时间植被没发生变化（仍为耕地），运用此方法不能计算出 NPP 人为

① 收稿日期：2017-10-18； 修订日期：2018-04-24
基金项目：国家自然科学基金项目（41761083）；西北师范大学青年教师科研能力提升计划项目（NWNU-LKQN-14-4）；国家自然科学基金项目（41661084）资助
作者简介：李传华（1979- ），男，副教授，博士，主要研究生态遥感与 GIS 应用. E-mail：lch_nwnu@126.com

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:201809.00012v1

影响值。因此,本研究拟采用一种 NPP 人为影响估算模型,分离气候变化与人类活动对 NPP 的影响,定量计算 NPP 的人为影响值,评价工程治理成效。

1 研究区概况与数据

1.1 研究区与治理工程介绍

石羊河流域地处黄土高原、青藏高原、蒙新高原 3 大高原的交汇过渡带,位于甘肃省河西走廊东部,祁连山北麓,地理坐标介于 101°22′~104°16′E、36°29′~39°27′N 之间,面积 4.16×10^4 km^2。石羊河流域深居大陆腹地,属大陆性温带干旱气候。流域可分为南部祁连山地,中部走廊平原区,北部低山丘陵区及荒漠区 4 大地貌单元。流域行政区划涉及 3 市 8 县,包括武威市的古浪县、凉州区、民勤县全部及天祝县部分,金川市的永昌县和金川区全部以及张掖市肃南裕固族自治县的皇城镇(简称肃南县)和山丹县部分地区(面积很小,讨论中忽略不计)。流域内分布有武威、金川和民勤绿洲 3 大绿洲,依次分布在绿洲中部、中西部和北部。由于流域北部荒漠区 MODIS 数据 NPP 值为 0,不在本研究范围内。研究区域见图 1。

石羊河流域治理工程基本情况为:上游地区,继续保护和恢复祁连山水源涵养林区,加强封育保护,提高林草覆盖率,减轻水土流失,提高水源涵养能力;对水源涵养林核心地带实施生态移民试点。中下游地区,强化节水,加大产业结构特别是农业种植结构调整力度,提高用水效率;减少配水面积,减少用水总量;修建专用输水渠,增加下泄水量;减少地下水开采,逐步恢复地下水位;建设绿洲防护林网体系;加快灌区节水改造;在民勤湖区北部实施生态移民试点,减轻环境压力[31]。

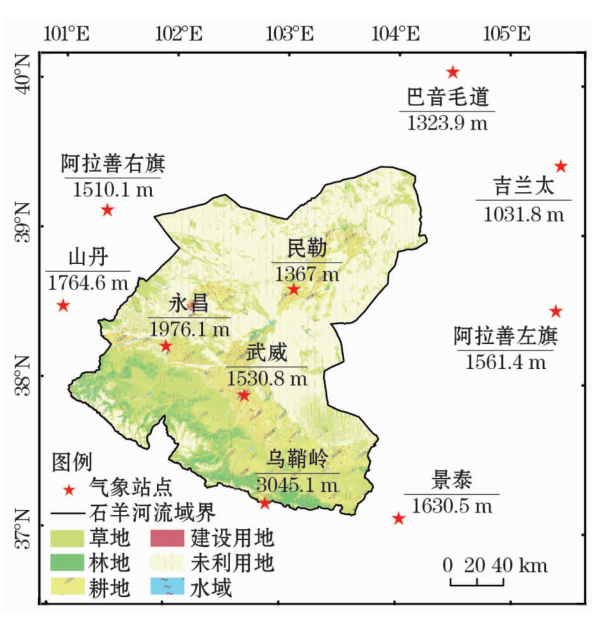


图 1 石羊河流域

Fig. 1 The Shiyang River Basin

1.2 数据说明

本研究所用的 2000—2010 年 NPP 数据来自美国国家航空航天局(NASA)的 EOS/MODIS 遥感卫星数据 MOD17A3,是 MODIS 数据中的 4 级产品,空间分辨率为 1 km,已在全球和区域 NPP 与碳循环研究中得到广泛应用。利用遥感处理软件 ENVI 5.1 对 MOD17A3 进行了拼接和裁剪,得到镶嵌影像,将其投影到 Albers 等积投影。温度、降水来源于中国气象数据共享网,包括月平均气温、月降水量,2000 年土地利用数据来自于中国西部环境与生态科学数据中心。气温受海拔影响,根据气象站点的海拔高度和月平均气温,计算出气温垂直递减率,再根据海拔高度将气象站点的气温换算成海平面温度,在 ArcMap 9.3 中采用 IDW 插值得到气温数据,降水直接采用 IDW 插值得到,空间分辨率为 1 km,气象站点见图 1。数字高程模型(DEM)数据来源于地理空间数据云,空间分辨率为 90 m。

2 研究方法

以流域治理工程启动年份 2006 年为界,将研究期分为 2000—2006 年与 2007—2010 年 2 个阶段。采用变异系数法计算 2 个阶段 NPP 人为影响值并加以比较,再利用 Sen 趋势法[32]分析 2 个阶段 NPP 人为影响值变化趋势。

2.1 变异系数法

人类活动对 NPP 影响方式多样,较难构建模型直接计算,或者参数太多较难获取。本文从间接的思路出发,即人类活动对 NPP 影响等于 NPP 实际值(Actual NPP 称为 NPP_A)减去在自然状态下(无人为影响)NPP 理论值(Theoretical NPP 称为 NPP_T),差值即为 NPP 人为影响值(NPP influenced by human 称为 NPP_H),计算公式如下:

$$NPP_H = NPP_A - NPP_T \quad (1)$$

式中:NPP_H 为 NPP 人为影响值;NPP_A 为实际 NPP;NPP_T 为理论 NPP。实际 NPP 为 MOD17A3 产品数据,其关键是计算 NPP_T。一般来说可以采用气候学模型(只与气候因子有关)计算潜在 NPP 作为理论

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:201809.00012v1

值,但潜在植被是立地条件下植被演替的最高形态,潜在 NPP 是一个虚拟值,要大于实际 NPP,使用潜在 NPP 作为理论 NPP 不太科学。本研究理论 NPP 的定义为,无人为干扰下植被在立地条件下的实际 NPP,本质上是实际 NPP。

计算理论 NPP 的关键是找到自然状态下(无人为干扰)的点位,因此,区分某点位 NPP 是否受到人为作用影响是关键。在自然状态下,NPP 只受气候变化影响,因此可以这样理解,自然状态下 NPP 的变化特征应该与气候变化特征一致。考虑到变异系数能表达序列数据变化的离散程度,因此,可以使用变异系数来衡量 NPP 变化与气候变化的离散程度是否一致来区分。如果 NPP 变异系数等于气候变异系数或者相差在一定范围内,表明该单元只受到气候因子的作用,否则同时还受到人类活动的影响。在此基础上,还需要结合实际情况来判断是否存在人为影响,其原则是:如一些明显受到人为影响的点位(如耕地)需要去掉,离居民点比较近也认为是受到人为影响,去掉。判断还需要结合遥感影像、DEM、土地利用现状图,甚至实地勘察来确定。由于变异系数是一个统计量,对于大样本数据来说,肯定存在一些小概率事件,如存在 NPP 变异系数与气候变异系数相等,而其实两者变化特征不一致的现象,即变异系数之差为 0,而此处存在人为影响。不过,如果此处无人为影响,该处的 NPP 变异系数与气候变异系数一定相等,基于此即可保证模型理论的确定性。详细计算方法参考文献〔33〕。

选出无人为影响点,把该栅格对应的 NPP 实际值当成 NPP 理论值,将这些栅格值空间插值,得到全流域 NPP 理论值,再与实际 NPP 求差,得到 NPP 人为影响值,其值代表影响的大小,正负号代表人为作用影响方向,正号为正向影响,即人为作用下 NPP 增加,负号为负向影响,表示人为作用下 NPP 减小。

2.2 Sen 趋势分析法

非参数检验法 Sen 趋势法具有抗噪声强,对异常值不敏感等特点,具体公式见文献〔32〕,序列值 $X_i, i = 1, 2, \cdots, n$,Sen 趋势计算如下:

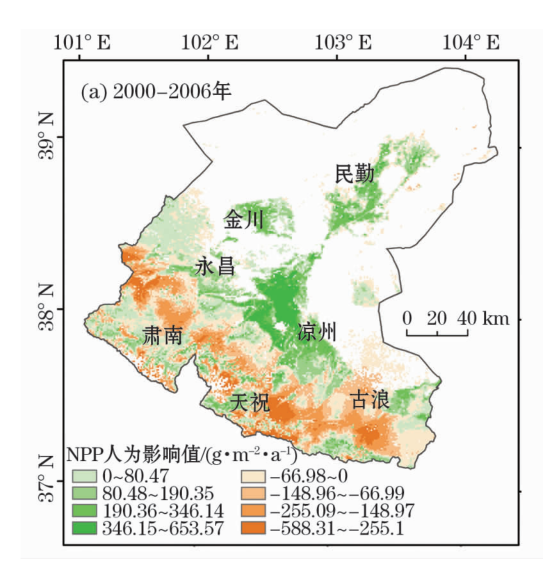
$$\beta = \mathrm{Median}(X_j - X_i / j - i), \forall j > i$$

式中:$n > j > I > 0$,Median 为中位数的函数,β 为 Sen 趋势度,表示 X 序列增强或减少趋势的程度,若 $\beta > 0$,则 X 序列有增加的趋势,且越大则表示增加程度越大;若 $\beta < 0$,则表示呈减少的趋势,值越小表示减小程度越大。Sen 趋势法不能实现序列趋势的显著性判断,本文采用 Mann-Kendall 来检验趋势的显著性。

3 结果与分析

3.1 NPP 人为影响值分布

治理工程实施年份为 2006 年,因此以 2006 年为界,将研究期分成 2000—2006 和 2007—2010 年 2 个时段,2 个时段全流域 NPP 平均值分别 325.87 $g \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$和 330.20 $g \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$。按变异系数法计算 2 个时段 NPP 人为影响值,人类活动对植被 NPP 的影响覆盖了大部分区域,结果见图 2。2 个时段 NPP 人为影响值分布格局基本相同,最显著的分布特征有两处,一是3大绿洲表现出强烈的人为正



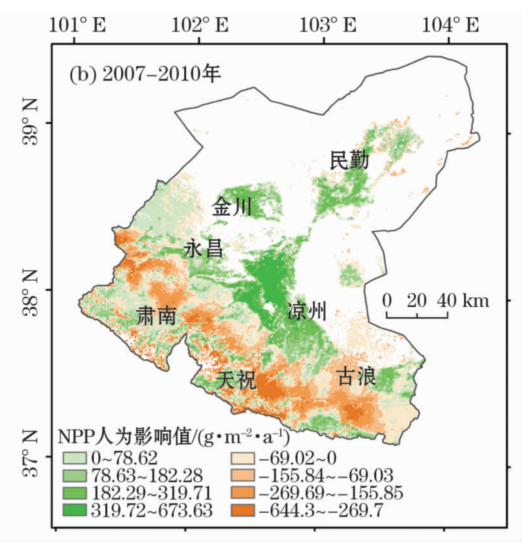


图 2 NPP 人为影响分布

Fig. 2 Spatial distribution of human – influenced NPP

ChinaXiv合作期刊

影响,绿洲属于人为直接活动区,多为耕地,人为正向影响符合实际;二是在肃南、天祝、古浪、永昌几县交界处负向作用显著,呈带状分布,结合 DEM 分析,此带状分布区域为石羊河流域出山口,地形变化剧烈、水资源丰富,植被以草地为主,人为活动为放牧,人为负作用严重。2000—2006 年人为影响值介于 $-588.31 \sim 653.57$ g·m^{-2}·a^{-1}之间,2007—2010 年介于 $-644.30 \sim 673.63$ g·m^{-2}·a^{-1}之间。在人为作用下,2000—2006 年全流域 NPP 总量年增加 1.62 Tg,年减少 1.25 Tg,年净增加 0.37 Tg;2007—2010 年全流域 NPP 总量年增加 1.64 Tg,年减少 1.31 Tg,年净增加 0.33 Tg。2 个时段人为作用对全流域植被 NPP 的正负影响均十分剧烈,整体都表现为正影响。

3.2 NPP 人为影响值比较

为了便于 2 个时段 NPP 人为影响对比,将影响值划分为正负并按自然分级法分为 4 级,分别为轻微、一般、严重与剧烈,结果见表 1。可以看出,在流域治理工程实施以后,为正向影响,各程度的作用强度均有所减少,剧烈程度减少最大,由 440.65 g·m^{-2}·a^{-1}减少到 401.26 g·m^{-2}·a^{-1};剧烈与轻微程度影响范围和总量减少,一般与严重程度的影响范围和总量均增加。负向影响,各程度影响强度均有所增加,剧烈程度增加最大,由316.64 g·m^{-2}·a^{-1}增加到 334.61 g·m^{-2}·a^{-1};剧烈与轻微程度影响范围减少,一般与严重程度影响范围增加;剧烈程度影响总量减少,其他程度影响总量均增加。在 2 个时段,各程度的人为作用变化比较复杂,但剧烈程度的正负影响总量均减弱是比较明显的特征,说明人类直接活动区域影响有所减弱。

表 1 2 个时段人为影响程度与方向比较

Tab. 1 Compared results of degree and direction of human influence during the periods of 2000—2006 and 2007—2010)

影响程度	影响方向	数量/个	比例/%	影响总量/Gg	影响强度/(g·m^{-2}·a^{-1})
轻微	2000-2006 年负	5 983	24.50	-176.31	-29.47
	2007-2010 年负	5 860	24.00	-181.83	-31.03
	2000-2006 年正	5 457	22.35	176.35	32.32
	2007-2010 年正	4 808	19.69	149.34	31.06
一般	2000-2006 年负	3 197	13.09	-334.09	-104.50
	2007-2010 年负	3 486	14.28	-373.07	-107.02
	2000-2006 年正	3 344	13.70	430.41	128.71
	2007-2010 年正	3 540	14.50	446.90	126.24
严重	2000-2006 年负	2 329	9.54	-450.04	-193.23
	2007-2010 年负	2 350	9.62	-480.95	-204.66
	2000-2006 年正	2 095	8.58	528.09	252.07
	2007-2010 年正	2 384	9.76	568.25	238.36
剧烈	2000-2006 年负	905	3.71	-286.56	-316.64
	2007-2010 年负	805	3.30	-269.36	-334.61
	2000-2006 年正	1 106	4.53	487.36	440.65
	2007-2010 年正	1 183	4.85	474.69	401.26

3.3 变化趋势对比

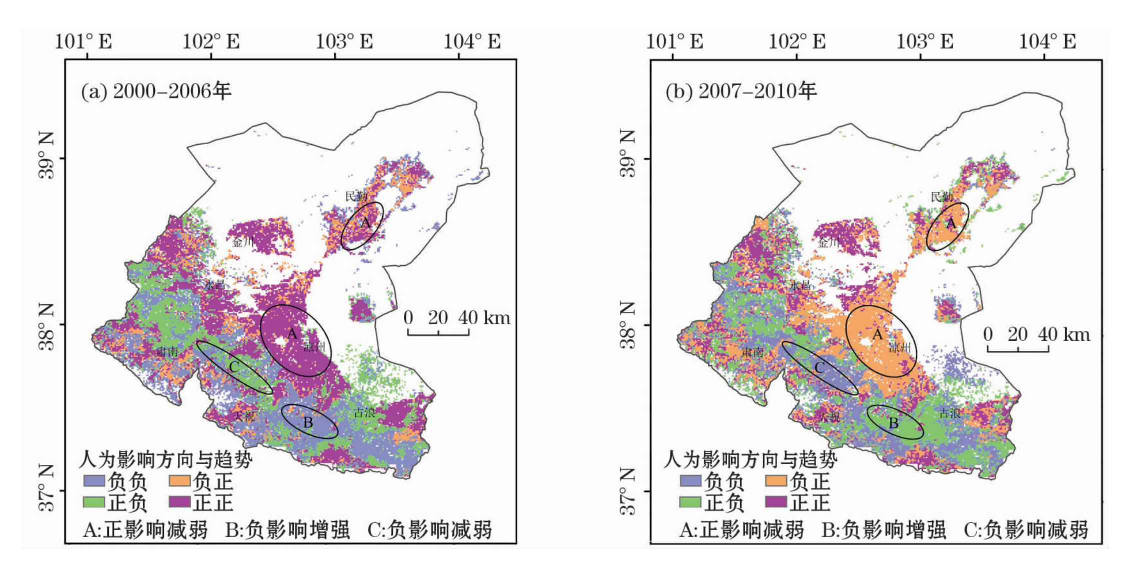
仅仅从人为影响值无法准确判断人为活动的变化,为了进一步明确 2 个时段的人为作用变化,需要对人为作用的变化趋势进行分析,采用 Sen 趋势计算方法分别求出 2000—2006 年与 20007—2010 年各栅格单元 NPP 人为影响变化趋势,采用 M-K 方法进行显著性检验,71% 的栅格通过 $P<0.05$ 显著水平。将人为作用变化趋势与 NPP 人为影响值的正负方向结合起来,趋势度被分为 4 类,分别为正正、正负、负正与负负,结果见图 3,负正表示影响趋势减弱,影响值是正值。由图 3 可以看出,2000—2006 年和 2007—2010 年 2 个时段 NPP 人为影响变化非常大,大部分地区的影响趋势均发生了变化,保持不变的区域占 39.87%。

变化最显著的区域有 3 部分,一是在武威绿洲和民勤绿洲,图 3 中的 A 区域,由正正转向负正,表明人为正向作用减弱。二是凉州区与古浪县交界处 B 区域,由负负转向正负,表明人为负向作用增强。三是天祝县肃南县交界处 C 区域,由正负转向负负,表明负向作用减弱。A 区域大部分为耕地,工程治理后进行农业结构调整和节水改造,种植强度有所下降,导致人为影响值呈下降趋势;B 区域和 C 区域为石羊河上游,植被以草地和林地为主,人为活动主要为放牧,实施祁连山生态保护之后,C 区域实施封山育林育草,人为负向影响减弱,但同时导致其他地区(如 B 区域)放牧加剧,造成负向影响增强。金川绿洲大部分地区保持正正状态,人为作用持续加强,其原因是金川属于工业市,相对另外 2 个绿洲而言,农业开发时间较晚,还处于发展状态。

2 个时段不同类别的转换见表 2,可以看出人为影响趋势发生了很大的变化。负负转移方向最多的是正负,占 15.84%,表示负向影响加重;保持不变的占 12.15%,有 0.61% 由负影响变为正影响。负正转移方向最多的是正正,占 4.69%,表明正向影响加大;保持不变的占 6.87%,有 1.76% 由正影响变为负影响。正负转移最多的是负负,占 12.09%,表明负向作用减弱;保持不变的占8.72%,有

chinaXiv:201809.00012v1

ChinaXiv合作期刊



注:负正表示影响趋势减弱,影响值是正值,其他组合类推。

图 3 人为作用 NPP 变化趋势分级

Fig. 3 Change trend and classification of human-influenced NPP

表 2 2 个时段人为影响转移矩阵

Tab. 2 Transition matrix of human influence in two periods

		2007 – 2010 年				
		负负/%	负正/%	正负/%	正正/%	汇总/%
2000 – 2006 年	负负	2 850(12.15)	64(0.27)	3 718(15.84)	79(0.34)	6 711(28.24)
	负正	233(0.99)	1 611(6.87)	180(0.77)	1 101(4.69)	3 125(13.15)
	正负	2 837(12.09)	265(1.13)	2 045(8.72)	153(0.65)	5 300(22.30)
	正正	180(0.77)	5 422(23.11)	177(0.75)	2 850(12.15)	8 629(36.31)
	汇总	6 100(25.67)	7362(30.98)	6 120(25.75)	4 183(17.60)	23 675(100)

1.78% 由负影响变为正影响。正正转移最多的是负正,占 23.11%,表现为正向影响在下降;保持不变的占 12.15%,有 1.52% 由正影响变为负影响。

表 2 可以看出,人为影响方向发生变化的区域仅占 5.60%,人为影响趋势发生变化但方向不变的区域占 54.53%,人为影响方向和趋势保持不变的区域占 39.87%。根据栅格数统计,负向作用减缓区域由 28.24% 减少至 25.67%,略有减少;正向减弱区域由 13.15% 增加到 30.98%,增加幅度超过 1 倍;负向增强区域由 22.30% 增加到 25.75%,略有增加;正向增强区域由 36.31% 减少至 17.60%,减少幅度超过 1/2。可以看出,正向影响减弱区域面积增加和正向增强区域面积减少的比重较大,说明人为活动特别是在正向作用区域有所减缓。

3.4 地类对比

为了分析治理工程对地类的作用规律,将 2 个时段人为作用趋势与方向和主要地类之间关系进行比较(表 3)。耕地正正在减少,正负略微增加,负正大幅增加,负负略微减少,主要原因是治理工程中退耕还林还草,关井压田措施的实施。林地正正、正负减少,负正、负负增加,均表明人为作用的影响趋势在减弱,其主要原因是封山育林。草地正正减少、正负略微增加、负正增加、负负略微减少,同样表明人为正向施加的影响在减弱,其原因是由于草地轮牧,封滩育草等措施的影响。沙地正正大幅减少、正负基本持平、负正大幅增加、负负基本持平,表现的效果还是人为作用的影响趋势在减弱,这与加强流域下游生态输水措施密不可分。戈壁正正减少、正负略微减少、负正增加、负负略微增加,效果依然为人为作用的影响在减弱,主要原因是减少了对戈壁荒滩的开发。以上情况可以看出,主要地类均表现出一致的规律,即人为作用的影响在减弱。

3.5 各行政区对比

为了评价流域各行政区治理成效,对各县区 NPP 人为影响进行对比(表 4)。从 NPP 影响值来看,正向影响,除民勤与凉州区减少外,其他县区影响总量与强度均增加;负向影响,除了金川、永昌减少外,其他县区影响总量与强度均增加。从影响范

chinaXiv:201809.00012v1

ChinaXiv合作期刊

表 3　2 个时段 NPP 人为作用趋势与方向和地类

Tab. 3　Relationship between the change trend and direction of human-influenced NPP and the land use types in two periods

地类	正正		正负		负正		负负	
	2000 – 2006	2007 – 2010	2000 – 2006	2007 – 2010	2000 – 2006	2007 – 2010	2000 – 2006	2007 – 2010
耕地	3 785	1 408	1 119	1 228	973	3 372	1 409	1 278
林地	973	637	697	544	465	818	672	792
草地	2 282	1 239	2 672	2 980	1 059	1 967	3 291	3 098
沙地	381	130	315	309	114	356	246	259
戈壁	362	265	220	209	119	213	185	195
盐碱地	267	177	47	127	97	198	171	80

表 4　2 个时段各行政区 NPP 人为影响值

Tab. 4　Values of human-influenced NPP in different districts in two periods

行政区	2000 – 2006 年				2007 – 2010 年			
	负		正		负		正	
	总量/($Gg \cdot a^{-1}$)	强度/($g \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$)	总量/($Gg \cdot a^{-1}$)	强度($g \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$)	总量/($Gg \cdot a^{-1}$)	强度/($g \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$)	总量/($Gg \cdot a^{-1}$)	强度/($g \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$)
金川	–0.80	–16.29	66.99	161.03	–0.73	–14.69	80.16	193.17
肃南	–226.44	–102.46	103.34	70.54	–243.46	–112.61	109.39	72.30
永昌	–206.14	–97.88	230.29	92.52	–188.71	–89.73	256.69	103.01
民勤	–27.54	–32.02	323.22	136.32	–41.67	–45.59	302.46	130.54
天祝	–331.01	–134.50	142.68	105.54	–355.67	–144.11	152.81	113.62
古浪	–339.47	–94.51	99.83	87.03	–346.84	–95.63	115.27	103.66
凉州	–115.20	–101.77	655.40	237.81	–127.75	–109.01	621.97	229.00

围来看,正向影响,民勤、古浪和凉州略微减少,肃南稍有增加,其他地区基本保持不变,负向与之相反。整体来看,各行政区 2 个时段人为正负影响的格局没有太大的变化,这种情况与治理工程有关,工程的实施重点在加强流域下游(民勤县)的地表输水,并进行退耕和生态移民,因此,民勤的人为直接作用区域减少,正向影响减少;在凉州区主要是农业种植结构调整,减少配水量,部分耕地由保灌地转为非保灌地,因此,正向影响也减少。同时,由于工程实施的直接作用面积有限,因此,在全流域中影响面积的变化较难体现。在流域上游,主要措施是封山育林,保护和建设祁连山水源涵养林区,并在核心地带进行生态移民,移民集中安置在县域某个区域,这就出现了部分地区人为活动减弱的同时,部分地区人为活动增强,表现为上游县区正负向影响同时存在增强减弱的现象。

综合来看,所有县区的正正面积均减少、负正面积均增加,表明了治理工程已见成效。负负与正负面积增加与减少并存,也说明了人为作用变化的复杂。从以上结果分析,自流域治理工程实施以后,民勤、凉州与古浪人为作用呈减少趋势,治理初见成效;肃南、天祝和永昌 NPP 人为作用变化复杂,效果不太明显;金川县人为作用加强。

4　结论与讨论

(1) 石羊河流域 NPP 人为影响广泛而强烈,人为作用对 NPP 的正负影响均较大,正向影响年均 1.63 Tg,负向影响年均 1.28 Tg,总体呈正向影响。

(2) 治理工程实施以后,人为作用仍然呈正影响,净影响值从 0.37 $Tg \cdot a^{-1}$ 减少到 0.33 $Tg \cdot a^{-1}$,作用强度也有所下降,其中剧烈程度减少最大;流域 39.87% 的区域人为影响没有变化,36.54% 的区域表现为正向影响减弱,12.09% 的区域表现为负向影响减弱,说明治理后人为活动有所放缓,在人类直接作用区域尤为明显。

(3) 治理后人为作用发生很大变化,其中作用方向发生逆转的区域占 5.60%,作用趋势发生改变的占 54.53%,说明人为治理工程在一个较短时期内虽可产生一定效果,但在大范围内根本逆转仍然

chinaXiv:201809.00012v1

ChinaXiv合作期刊

是一个长期而艰巨的过程。

(4)各县区的治理成效各异,其中民勤、凉州区最为显著,其次为古浪、天祝、肃南、永昌与金川。

本文还存在一些需要讨论的问题,例如变异系数是一个基于离散数据的统计值,由于栅格数量太多,每个栅格较难都符合本文所述的条件,如在气候占主导要素的地区,可能降水的年际变化决定了 NPP 的年际变化,即使有人为影响,其影响没能超过气候影响,这种情况下的人类活动影响就无法探测,会出现将其视为了无人为影响点的误差情况。但总体而言,该方法无疑可以作为相关领域一种方法的补充。

参考文献(References):

〔1〕 刘国华,傅伯杰,陈利顶,等. 中国生态退化的主要类型、特征及分布〔J〕. 生态学报,2000,20(1):13 – 19.〔Liu Guohua, Fu Bojie, Chen Liding, et al. Characteristics and distributions of degraded ecological types in China〔J〕. Acta Ecologica Sinica, 2000, 20(1):13 – 19.〕

〔2〕 周宏春. 试论生态文明建设理论与实践〔J〕. 生态经济,2017,33(4):175 – 181.〔Zhou Hongchun. A tentative study on theory and practice of ecological civilization construction〔J〕. Ecological Economy, 2017, 33(4):175 – 181.〕

〔3〕 王琪,史基安,张中宁,等. 石羊河流域环境现状及其演化趋势分析〔J〕. 中国沙漠,2003,23(1):46 – 52.〔Wang Qi, Shi Ji'an, Zhang Zhongning, et al. Current situation of the environment in Shiyang River Basin and its evolutionary trends〔J〕. Journal of Desert Research, 2003, 23(1):46 – 52.〕

〔4〕 王兴成,王开录. 石羊河流域生态环境恶化原因及综合防治思路与措施〔J〕. 水土保持研究,2004,11(1):174 – 176.〔Wang Xingcheng, Wang Kailu. Degradation reason of eco-system environment in Shiyang River valley and its prevention and control measures〔J〕. Research of Soil and Water Conservation, 2004, 11(1):174 – 176.〕

〔5〕 常兆丰,韩福贵,仲生年,等. 石羊河下游沙漠化的自然因素和人为因素及其位移〔J〕. 干旱区地理,2005,28(2):150 – 155.〔Chang Zhaofeng, Han Fugui, Zhong Shengnian, et al. Natural and artificial factors and their transfer on sandy desertification of lower reaches of Shiyang River Basin〔J〕. Arid Land Geography, 2005, 28(2):150 – 155.〕

〔6〕 周俊菊,张恒玮,张利利,等. 综合治理前后民勤绿洲景观格局时空演变特征〔J〕. 干旱区研究,2017,34(1):79 – 87.〔Zhou Junju, Zhang Hengwei, Zhang Lili, et al. Spatiotemporal evolution of landscape pattern in the Minqin Oasis before and after implementing the comprehensive management〔J〕. Arid Zone Research, 2017, 34(1):79 – 87.〕

〔7〕 梁变变,石培基,周文霞,等. 河西走廊城镇化与水资源效益的时空格局演变〔J〕. 干旱区研究,2017,34(2):452 – 463.〔Liang Bianbian, Shi Peiji, Zhou Wenxia, et al. Spatiotemporal pattern evolution of urbanization and water resources benefits in the Hexi Corridor〔J〕. Arid Zone Research, 2017, 34(2):452 – 463.〕

〔8〕 李传华,赵军. 2000—2010 年石羊河流域 NPP 时空变化及驱动因子〔J〕. 生态学杂志,2013,32(3):712 – 718.〔Li Chuanhua, Zhao Jun. Spatiotemporal variations of vegetation NPP and related driving factors in Shiyang River basin of Northwest China in 2000 – 2010〔J〕. Chinese Journal of Ecology, 2013, 32(3):712 – 718.〕

〔9〕 文星,王涛,薛娴,等. 1975—2010 年石羊河流域绿洲时空演变研究〔J〕. 中国沙漠,2013,33(2):478 – 485.〔Wen Xing, Wang Tao, Xue Xian, et al. Spatial-temporal evolution of the Oasis in Shiyang river basin in 1975 – 2010〔J〕. Journal of Desert Research, 2013, 33(2):478 – 485.〕

〔10〕 许璟,安裕伦,胡锋,等. 基于植被覆盖与生产力视角的亚喀斯特区域生态环境特征研究——以黔中部分地区为例〔J〕. 地理研究,2015,34(4):644 – 654.〔Xu Jing, An Yulun, Hu Feng, et al. Research on characteristics of ecological environment in a semi-karst region based on vegetation cover and NPP: A case study in central Guizhou province〔J〕. Geographical Research, 2015, 34(4):644 – 654.〕

〔11〕 李春香,赵天保,马柱国. 基于 CMIP5 多模式结果评估人类活动对全球典型干旱半干旱区气候变化的影响〔J〕. 科学通报,2014,59(30):2 972 – 2 988.〔Li Chunxiang, Zhao Tianbao, Ma Zhuguo. Impacts of anthropogenic activities on climate change in arid and semiarid areas based on CMIP5 models〔J〕. Science China Press, 2014, 59(30):2 972 – 2 988.〕

〔12〕 韦振锋,王德光,张翀,等. 1999—2010 年中国西北地区植被覆盖对气候变化和人类活动的响应〔J〕. 中国沙漠,2014,34(6):1 665 – 1 670.〔Wei Zhenfeng, Wang Deguang, Zhang Chong, et al. Response of vegetation cover to climate change and human activities in Northwest China during 1999 – 2010〔J〕. Journal of desert research, 2014, 34(6):1 665 – 1 670.〕

〔13〕 杨林山,李常斌,王帅兵,等. 气候变化和人类活动对洮河流域植被动态的影响研究〔J〕. 资源科学,2014,36(9):1 941 – 1 948.〔Yang Linshan, Li Changbin, Wang Shuaibing, et al. Impacts of climate change and human activities on vegetation dynamics in two geo-ecologic regions in the taohe river basin〔J〕. Resources Science, 2014, 36(9):1 941 – 1 948.〕

〔14〕 Evans J, Geerken R. Discrimination between climate and human-induced dryland degradation〔J〕. Journal of Arid Environments 2004, 57(4):535 – 554.

〔15〕 Weng Q. Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends〔J〕. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2009, 64(4):335 – 344.

〔16〕 黄森旺,李晓松,吴炳方,等. 近 25 年三北防护林工程区土地退化及驱动力分析〔J〕. 地理学报,2012,67(5):589 – 598.〔Huang Senwang, Li Xiaosong, Wu Bingfang, et al. The distribution and drivers of land degradation in the Three-North Shelter For-

chinaXiv:201809.00012v1

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:201809.00012v1

est Region of China during 1982 – 2006〔J〕. Acta Geographica Sinica,2012,67(5):589 – 598.〕

〔17〕易浪,任志远,张翀,等. 黄土高原植被覆盖变化与气候和人类活动的关系〔J〕. 资源科学,2014,36(1):166 – 174.〔Yi Lang, Ren Zhiyuan, Zhang Chong, et al. Vegetation cover, climate and human activities on the Loess Plateau〔J〕. Resources Science, 2014,36(1):166 – 174.〕

〔18〕Symeonakis E, Drake N. Monitoring desertification and land degradation over sub-Saharan Africa〔J〕. International Journal of Remote Sensing,2004,25(3):573 – 592.

〔19〕彭飞,王涛,薛娴. 基于 RUE 的人类活动对沙漠化地区植被影响研究——以科尔沁地区为例〔J〕. 中国沙漠,2010,30(4):896 – 902.〔Peng Fei, Wang Tao, Xue Xian. Study of human impact on vegetation in desertified regions based on rainfall use efficiency:A case study of horqin region, Inner Mongolia〔J〕. Journal of Desert Research,2010,30(4):896 – 902.〕

〔20〕杜加强,舒俭民,张林波. 基于植被降水利用效率和 NDVI 的黄河上游地区生态退化研究〔J〕. 生态学报,2012,32(11):3 404 – 3 413.〔Du Jiaqiang, Shu Jianmin, Zhang Linbo. Analysis of ecosystem degradation and recovery using precipitation use efficiency and NDVI in the headwater catchment of the Yellow River basin〔J〕. Acta Ecologica Sinica,2012,32(11):3 404 – 3 413.〕

〔21〕Li H, Liu G, Fu B. Spatial variations of rain-use efficiency along a climate gradient on the Tibetan Plateau:A satellite-based analysis〔J〕. International Journal of Remote Sensing, 2013, 34 (21): 7 487 – 7 503.

〔22〕田汉勤,刘明亮,张弛,等. 全球变化与陆地系统综合集成模拟—新一代陆地生态系统动态模型(DLEM)〔J〕. 地理学报,2010,65(9):1 027 – 1 047.〔Tian Hanqin, Liu Mingliang, Zhang Chi, et al. The dynamic land ecosystem model (DLEM) for simulating terrestrial processes and interactions in the context of multifactor global change〔J〕. Acta Geographica Sinica, 2010, 65 (9): 1 027 – 1 047.〕

〔23〕Albertson J D, Katul G G, Wiberg P. Relative importance of local and regional controls on coupled water, carbon, and energy fluxes〔J〕. Advances in Water Resources,2001,24(9):1 103 – 1 118.

〔24〕Ren W, Tian H, Tao B, et al. China's crop productivity and soil carbon storage as influenced by multifactor global change〔J〕. Global Change Biology,2012,18(9):2 945 – 2 957.

〔25〕胡志斌,何兴元,李月辉,等. 岷江上游地区人类活动强度及其特征〔J〕. 生态学杂志,2007,26(4):539 – 543.〔Hu Zhibin, He Xingyuan, Li Yuehui, et al. Human activity intensity and its spatial distribution pattern in upper reach of Minjiang River〔J〕. Chinese Journal of Ecology,2007,26(4):539 – 543.〕

〔26〕陈忠升,陈亚宁,李卫红,等. 塔里木河干流径流损耗及其人类活动影响强度变化〔J〕. 地理学报,2011,66(1):89 – 98.〔Chen Zhongsheng, Chen Yaning, Li Weihong, et al. Weihong changes of runoff consumption and its human influence intensity in the mainstream of Tarim River〔J〕. Acta Geographica Sinica,2011,66(1):89 – 98.〕

〔27〕罗摇玲,王宗明,毛德华,等. 松嫩平原西部草地净初级生产力对气候变化及人类活动的响应〔J〕. 生态学杂志,2012,31(6):1 533 – 1 540.〔Luo Yaoling, Wang Zongming, Mao Dehua, et al. Responses of grassland net primary productivity in Western Songnen Plain of Northeast Chinato climate change and human activity〔J〕. Chinese Journal of Ecology, 2012, 31 (6): 1 533 – 1 540.〕

〔28〕Su C, Fu B J, He C S, et al. Variation of ecosystem services and human activities:A case study in the Yanhe Watershed of China〔J〕. Acta Oecologica,2012,44(2):46 – 57.

〔29〕Zhou W, Gang C C, Zhou F C, et al. Quantitative assessment of the individual contribution of climate and human factors to desertification in northwest China using net primary productivity as an indicator〔J〕. Ecological Indicators,2015,48:560 – 569.

〔30〕Yang H F, Mu S J, Li J L. Effects of ecological restoration projects on land use and land cover change and its influences on territorial NPP in Xinjiang, China〔J〕. Catena,2014,115(4):85 – 95.

〔31〕甘肃省水利厅,甘肃省改革与发展委员会. 石羊河流域重点治理规划〔R〕. 兰州:甘肃省水利厅,甘肃省改革与发展委员会,2007:21.〔Gansu Provincial Water Resources Bureau, Gansu Provincial Development and Reform Commission. Major Manage Planning of Shiyang River Basin〔R〕. Lanzhou:Gansu Provincial Water Resources Bureau, Gansu Provincial Development and Reform Commission,2007:21.〕

〔32〕王佃来,刘文萍,黄心渊. 基于 Sen + Mann-Kendall 的北京植被变化趋势分析〔J〕. 计算机工程与应用,2013,49(5):13 – 17.〔Wang Dianlai, Liu Wenping, Huang Xinyuan. Trend analysis in vegetation cover in Beijing based on Sen + Mann-Kendall method〔J〕. Computer Engineering and Applications,2013,49(5):13 – 17.〕

〔33〕李传华,赵军,师银芳,等. 基于变异系数的植被 NPP 人为影响定量研究—以石羊河流域为例〔J〕. 生态学报,2016,36(13):4 034 – 4 044.〔Li Chuanhua, Zhao Jun, Shi Yinfang, et al. The impact of human activities on net primary productivity based on the coefficient of variation:A case study of the Shiyang River Basin〔J〕. Acta Ecologica Sinica,2016,36(13):4 034 – 4 044.〕

ChinaXiv合作期刊

NPP-based Evaluation on Environment Governance Effect in the Shiyang River Basin

LI Chuan-hua, ZHAO Jun, SHI Yin-fang, WEI Wei
(*College of Geographic and Environmental Sciences*, *Northwest Normal University*, *Lanzhou* 730070, *Gansu*, *China*)

Abstract: Human activities are the important factors affecting the net primary productivity (NPP), and for this reason, the calculation of human-influenced NPP(NPPH) is of vital significance. The effect of human activities on ecological environment can be quantitatively estimate by calculating NPPH, and it is of an important significance to scientifically evaluate the implementation effect of management project. In this paper, the Shiyang River Basin was selected as the study area, the variation coefficient method was used to estimate the values of NPPH during the periods of 2000 – 2006 and 2007 – 2010, which included the spatial distribution, change in value, variation trend and effect evaluation of each county. The results are as follows: ① Effect of human activities on NPP was widespread in the Shiyang River Basin. The values of NPPH varied from −588.31 g · m^2 · a^{-1} to 653.57 g · m^2 · a^{-1} during the period of 2000 – 2006 and from −644.30 g · m^2 · a^{-1} to 673.63 g · m^2 · a^{-1} during the period of 2007 – 2010. Both the positive and negative human effects on NPP in the whole drainage basin were significant. Holistically, human influence in the Shiyang River Basin was positive; ② The change of NPPH was significant during the periods of 2000 – 2006 and 2007 – 2010, and the NPPH was reduced from 440.65 g · m^2 · a^{-1} to 401.26 g · m^2 · a^{-1}; ③ Human effect in the drainage basin was changed by 60.13%. It could be concluded that human activities were slowed down. Some results were achieved by implementing the management project, but the management would be a long-term and hard task; ④ Management effect was different from different counties, and it was the most significant in Minqin County and Liangzhou District.

Key words: coefficient variation; human-influenced NPP; management effect; Shiyang River Basin

chinaXiv:201809.00012v1